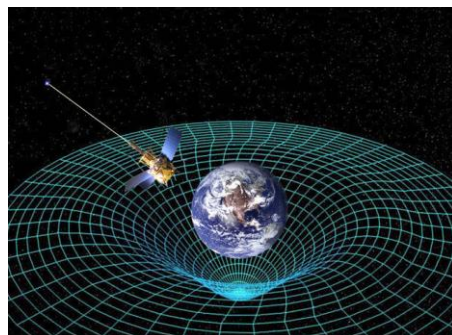




**PLAYING WITH  
PROTONS**

Μαθήματα Βαρύτητας με Απλά Υλικά



**Τίνα Νάντσου**

Παιδαγωγική Υπεύθυνη Προγράμματος Playing with Protons Greece

# Απλά πειράματα βαρύτητας

## Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε την βαρύτητα και την σύνδεσή της με την Κοσμολογία και την Αστροφυσική.

## Κεντρικά ερωτήματα

- α. Από τι εξαρτάται η ελεύθερη πτώση των σωμάτων;
- β. Γιατί αιωρούνται οι αστροναύτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό ISS;
- γ. Ποια είναι η σύγχρονη θεωρία για τη βαρύτητα (Γενική θεωρία της Σχετικότητας);

## Εναλλακτικές ιδέες μαθητών/τριών για την ελεύθερη πτώση

- α. Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα.
- β. Η επιτάχυνση ενός σώματος κατά την ελεύθερη πτώση εξαρτάται από τη μάζα του.
- γ. Στο κενό, άρα και στο διάστημα, δεν υπάρχει βαρύτητα.
- δ. Η βαρύτητα επιδρά στα σώματα μόνο όταν πέφτουν.
- ε. Το ελαφρύτερο σώμα πέφτει πιο αργά από το βαρύτερο γιατί είναι μεγαλύτερη η αντίσταση του αέρα.

## Σκοποί και στόχοι

Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε με τα παιδιά τις βασικές αρχές της κλασικής μηχανικής χωρίς να χρησιμοποιήσουμε μαθηματικά ερμηνευτικά μοντέλα.

## Διδακτική μεθοδολογία

Η προτεινόμενη διδακτική μεθοδολογία είναι η εποικοδομητική προσέγγιση που περιλαμβάνει πέντε φάσεις:

- α. Η φάση του προσανατολισμού
- β. Η φάση της ανάδειξης των ιδεών των μαθητών/τριών
- γ. Η φάση της αναδόμησης των ιδεών των μαθητών/τριών
- δ. Η φάση της εφαρμογής
- ε. Η φάση της ανασκόπησης

Αρχικά, ο/η εκπαιδευτικός ζητά από τους μαθητές/τριες να δουλέψουν ατομικά και μετά να συγκροτήσουν μικρές ομάδες για να συζητήσουν και να προβλέψουν τα αποτελέσματα σε ένα υποτιθέμενο πείραμα πτώσης σωμάτων από ένα ύψος. Έπειτα, καταγράφουν τις απόψεις τους. Ο εκπαιδευτικός τις συγκεντρώνει, τις κατηγοριοποιεί κι έτσι αναδεικνύονται τα σημαντικότερα μοντέλα των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/τριών. Οι μαθητές/τριες ενθαρρύνονται να ελέγξουν τις ιδέες τους, με σκοπό να τις επεκτείνουν, να αναπτύξουν καινούργιες ιδέες ή να αντικαταστήσουν τις προϋπάρχουσες με άλλες. Σκοπός του/της εκπαιδευτικού είναι οι αλλαγές αυτές στις ιδέες των μαθητών να γίνουν αυθόρμητα και να προσεγγίζουν το επιστημονικό πρότυπο.

Στη συνέχεια, καλούμε τους μαθητές/τριες να εκτελέσουν το υποθετικό πείραμα της προηγούμενης φάσης και να αιτιολογήσουν τα πιθανά αποτελέσματα. Εάν επαληθευθούν οι προβλέψεις τους μετά από το πείραμα, τότε έχουμε επαλήθευση της προϋπάρχουσας γνώσης. Εάν όχι, τότε έχουμε γνωστική σύγκρουση. Αφού προκύψει η γνωστική σύγκρουση, τότε και μόνο τότε θα τους οδηγήσουμε στην επιστημονική γνώση όσον αφορά τη βαρύτητα και ειδικότερα στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Albert Einstein. Οι βασικές έννοιες στις οποίες θα εισαχθούν οι μαθητές/τριες είναι αυτές της της καμπύλωσης του χωρόχρονου και πώς αυτή η έννοια ερμηνεύει την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο, τις μαύρες τρύπες, και τα βαρυτικά κύματα. Οι πειραματικές διατάξεις που θα υλοποιήσουν στη συνέχεια οι μαθητές/τριες θα γίνουν με απλά υλικά και θα περιλαμβάνουν την ελεύθερη πτώση αντικειμένων καθημερινής χρήσης, όπως βιβλία, φρούτα, νερό, μπίλιες, μπάλες. Μετά την υλοποίηση των παρακάτω πειραμάτων και δράσεων οι μαθητές/τριες με τη βοήθεια του/της εκπαιδευτικού θα πρέπει να αναγνωρίσουν τη σημασία όσων ανακάλυψαν και να συγκρίνουν τις αρχικές ιδέες τους με τις νέες απόψεις. Έτσι θα συνειδητοποιήσουν την διαφορά της προηγούμενης με την τωρινή κατάσταση, καθώς και την πορεία που ακολούθησαν μέχρι να φτάσουν στην αλλαγή ιδεών (μεταγνώση).

## **Πειράματα**

Τα πειράματα που παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα είναι:

- α. Ελεύθερη πτώση
- β. Γιατί οι αστροναύτες “αιωρούνται” στον Διαστημικό Σταθμό;
- γ. Καμπύλωση του χωρόχρονου με ένα σεντόνι

Σκόπιμα έχουν επιλεγεί πολύ απλά πειράματα με φτηνά και εύκολα στην εύρεσή τους υλικά. Στόχος είναι να γίνει το πείραμα από κάθε μαθητή/τρια μέσα στην τάξη.



Από την εκδήλωση Playing with Protons στο NOESIS

Η μελέτη της βαρύτητας και της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην Αστρονομία και την Αστροφυσική. Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης προκύπτει από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

### **Σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα**

Φυσική Ε΄ Δημοτικού, Μηχανική

### **Σύνδεση με το CERN**

Η μελέτη της βαρύτητας και της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην Αστρονομία και την Αστροφυσική. Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης προκύπτει από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Το CERN προσπαθεί να δώσει απάντηση στο ερώτημα τι έγινε τις πρώτες στιγμές της γέννησης του Σύμπαντος.

## 1° Πείραμα Ελεύθερη πτώση

Εάν θέλετε να εντυπωσιάσετε με ένα βιβλίο τους φίλους σας....



### Υλικά

- 1 βαρύ βιβλίο
- 1 κόλλα A4 (καλύτερα χρωματιστή)

### Βήματα υλοποίησης

1. Τι περιμένετε ότι θα συμβεί αν αφήσετε να πέσουν από το ίδιο ύψος ένα βιβλίο και μία κόλλα χαρτί; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.

---

---

---

---

2. Αφήστε από το ίδιο ύψος να πέσουν το βιβλίο και η κόλλα. Τι παρατηρείτε; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.

---

---

---

---

3. Γιατί συμβαίνει αυτό;

---

---

---

---



4. Τοποθετήστε την κόλλα πάνω στο βιβλίο και επαναλάβετε την διαδικασία. Τι παρατηρείτε; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.

---

---

---

---

5. Από τι εξαρτάται η πτώση των δύο σωμάτων;

---

---

---

---

### Και λίγη περισσότερη Φυσική....

Το βιβλίο πέφτει μαζί με το χαρτί γιατί το ύψος από το έδαφος είναι το ίδιο. Ο χρόνος της ελεύθερης πτώσης των σωμάτων εξαρτάται από το ύψος που τα αφήνουμε ελεύθερα και όχι από την μάζα των σωμάτων.

### Σημεία προσοχής

Το χαρτί πρέπει να ακουμπά πάνω στο βιβλίο και να έχει όσο το δυνατόν λιγότερο αέρα ανάμεσα ώστε να μην παρασυρθεί κατά την πτώση του με το βιβλίο.

### Λέξεις κλειδιά

**Βάρος:** Η δύναμη έλξης της Γης (για τον πλανήτη Γη).

**Μάζα:** Η ποσότητα της ύλης ενός σώματος.

**Πεδίο Βαρύτητας:** Ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται βαρυτικές δυνάμεις.

**Ελεύθερη πτώση:** Η κίνηση των σωμάτων με την επίδραση μόνο του βάρους τους.

## Χαρακτηριστικά & σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα

**Διάρκεια πειράματος:** 5 λεπτά.

**Βαθμός δυσκολίας:** 1/5

**Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα:** Φυσική Ε' Δημοτικού, Μηχανική

Κεφάλαιο 1: Ταχύτητα, Μάζα, Βάρος

Κεφάλαιο 2: Δυνάμεις

**Ειδικά θέματα:** Άλλο μάζα και άλλο βάρος. Δυνάμεις στον μακρόκοσμο και τον μικρόκοσμο

## Πηγές

Λεξικό των Επιστημών, Εκδόσεις Ερευνητές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά

<https://tinanantsou.blogspot.gr/p/e.html>

Ανδρέας Κασσέτας

<http://users.sch.gr/kassetas/0%20000%200%200%20aaAlterIDEAS.htm>

## 2° Πείραμα

**Γιατί αιωρούνται οι αστροναύτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό;**



### **Υλικά**

1 μεγάλο πλαστικό μπουκάλι  
πινέζες  
1 λεκάνη  
νερό

### **Βήματα υλοποίησης**

**1. Τι περιμένετε ότι θα συμβεί αν κάνετε μία τρύπα στο μπουκάλι;  
Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

---

---

---

---

**2. Τι περιμένετε ότι θα απαντούσαν τα παιδιά;**

---

---

---

---



**3. Κάντε μία τρύπα στο κάτω μέρος του μπουκαλιού που είναι γεμάτο με νερό. Τι παρατηρείτε; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

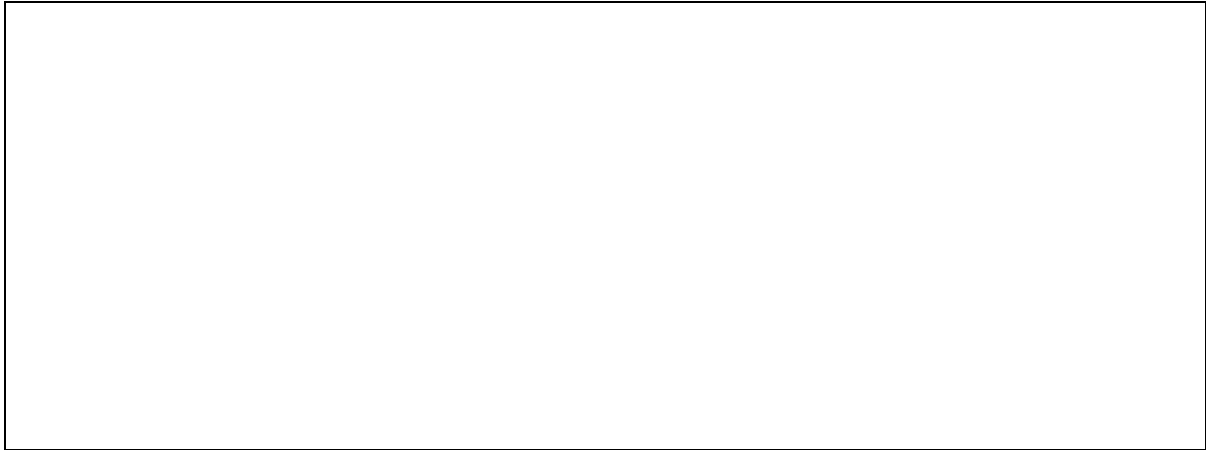
---

---

---

---

**Σχεδιάστε τη ροή του νερού καθώς βγαίνει από το μπουκάλι.**



**4. Αφήστε το μπουκάλι να πέσει από ύψος πάνω στη λεκάνη.**

**α. Τι περιμένετε ότι θα συμβεί; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

---

---

---

---

**β. Τι παρατηρείτε ότι γίνεται με την ροή του νερού;**

---

---

---

---

**γ. Γιατί σταματά να βγαίνει νερό από την τρύπα; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

---

---

---

---

**5. Γιατί αιωρούνται οι αστροναύτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό; Αιτιολογήστε την άποψή σας.**

---

---

---

---

**6. Υπάρχει βαρύτητα στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό; Αιτιολογήστε την άποψή σας.**

---

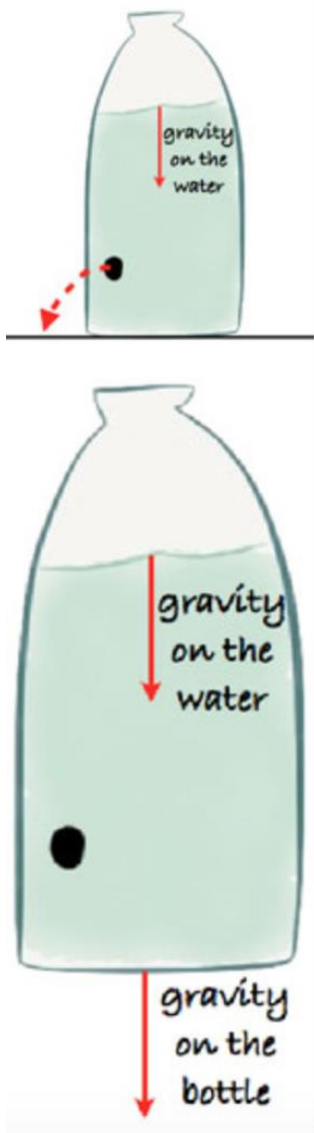
---

---

---



## Και λίγη περισσότερη Φυσική....



Όταν κρατάμε το μπουκάλι ψηλά, το νερό βγαίνει από την τρύπα λόγω της βαρύτητας. Το νερό ακολουθεί το πιο εύκολο μονοπάτι, δηλαδή, βγαίνει από την τρύπα προς τα έξω και πέφτει στη Γη. Όταν πέφτει το μπουκάλι με το νερό, το σύστημα μπουκάλι-νερό πέφτει με τον ίδιο ρυθμό λόγω της βαρύτητας. Το νερό ακολουθεί, λοιπόν, μαζί με το μπουκάλι τον πιο σύντομο δρόμο προς τη Γη.

## Σημεία Προσοχής

- α. Η πτώση του μπουκαλιού πρέπει να είναι από ψηλά.
- β. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε και χρώμα ζαχαροπλαστικής ώστε να βλέπετε καλύτερα το νερό.
- γ. Απομακρύνετε καλώδια ή ηλεκτρικές συσκευές κατά την πτώση.
- δ. Καλύτερα το πείραμα να γίνει στην αυλή του σχολείου.

## Λέξεις κλειδιά:

**Βάρος:** Η δύναμη έλξης της Γης (για τον πλανήτη Γη).

**Μάζα:** Η ποσότητα της ύλης ενός σώματος.

**Πεδίο βαρύτητας:** Ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται βαρυτικές δυνάμεις.

**Ελεύθερη πτώση:** Η κίνηση των σωμάτων με την επίδραση μόνο του βάρους τους.

## Χαρακτηριστικά & σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα

**Διάρκεια πειράματος:** 5 λεπτά

**Βαθμός δυσκολίας:** 1/5

**Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα:**

Φυσική Ε' Δημοτικού: Μηχανική

Κεφάλαιο 2: Δυνάμεις Κεφάλαιο : 1 Ταχύτητα

## Πηγές

Λεξικό των Επιστημών, Εκδόσεις Ερευνητές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά

<https://tinanantsou.blogspot.gr/p/e.html>

Διεθνής Διαστημικός Σταθμός

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html)

Ανδρέας Κασσέτας

<http://users.sch.gr/kassetas/0%20000%200%2>

## Σύνδεση με το CERN

α. Πείραμα AMS <https://home.cern/about/experiments/ams>



Το σημαντικότερο και ακριβότερο επιστημονικό πείραμα που έχει πραγματοποιηθεί ποτέ στο Διάστημα, το Άλφα Μαγνητικό Φασματοόμετρο ή AMS, καταγράφει την κοσμική ακτινοβολία. Εγκατεστημένο στο εξωτερικό του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού, το γιγάντιο όργανο καταγράφει φαινόμενα υψηλότερης ενέργειας απ' ό,τι ο LHC σε μια προσπάθεια να ανακαλύψει νέες, εξωτικές μορφές ύλης.

## β. Κοσμική ακτινοβολία

Οι **κοσμικές ακτίνες** ή **κοσμική ακτινοβολία** είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών, τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην **ατμόσφαιρα** της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα. Μία από τις κύριες πηγές, ίσως και μοναδική, των κοσμικών ακτίνων είναι οι υπερκαινοφανείς αστέρες, οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση τεραστίων ποσοτήτων ενεργειών. Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή, θετικά ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, με αναλογία 87% πρωτόνια, 12% σωματία άλφα (πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες (οι σχετικές περιεκτικότητες είναι συγκρίσιμες με τις ηλιακές). Ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτίνων είναι ακτίνες γ (φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών, ηλεκτρόνια και νετρίνα.

### Πηγές

AMS

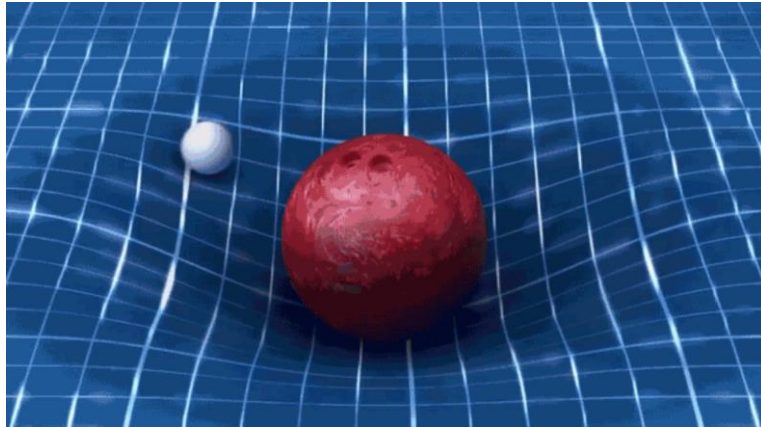
<https://home.cern/about/experiments/ams>

Κοσμικές Ακτίνες

[https://el.wikipedia.org/wiki/Κοσμικές\\_ακτίνες](https://el.wikipedia.org/wiki/Κοσμικές_ακτίνες)

### 3<sup>ο</sup> Πείραμα

## Καμπύλωση του χωρόχρονου στο κρεβάτι μας!



### Υλικά

- 1 μεγάλο ελαστικό σεντόνι
- Γυάλινες μπίλιες
- Φρούτα (π.χ. πορτοκάλι, μήλο, πεπόνι)
- 1 μπάλα μπάσκετ



## **Βήματα υλοποίησης**

**1. Κρατάμε τεντωμένο ένα σεντόνι και στο κέντρο του βάζουμε μία μπάλα μπάσκετ.**

**2. Αφήνουμε πλάγια μία γυάλινη μπίλια. Τι παρατηρούμε; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**3. Αφήνουμε πολλές μπίλιες και σφαιρικά αντικείμενα από διάφορα σημεία. Τι παρατηρούμε με τις τροχιές ; Αιτιολογήσετε την άποψή σας.**

---

---

---

---

---

---

---

---

**4. Πώς θα μπορούσαμε να δείξουμε με το σεντόνι τη μαύρη τρύπα;**

---

---

---

---

---

---

---

---

**5. Πώς θα μπορούσαμε να δείξουμε την σκοτεινή ενέργεια;**

---

---

---

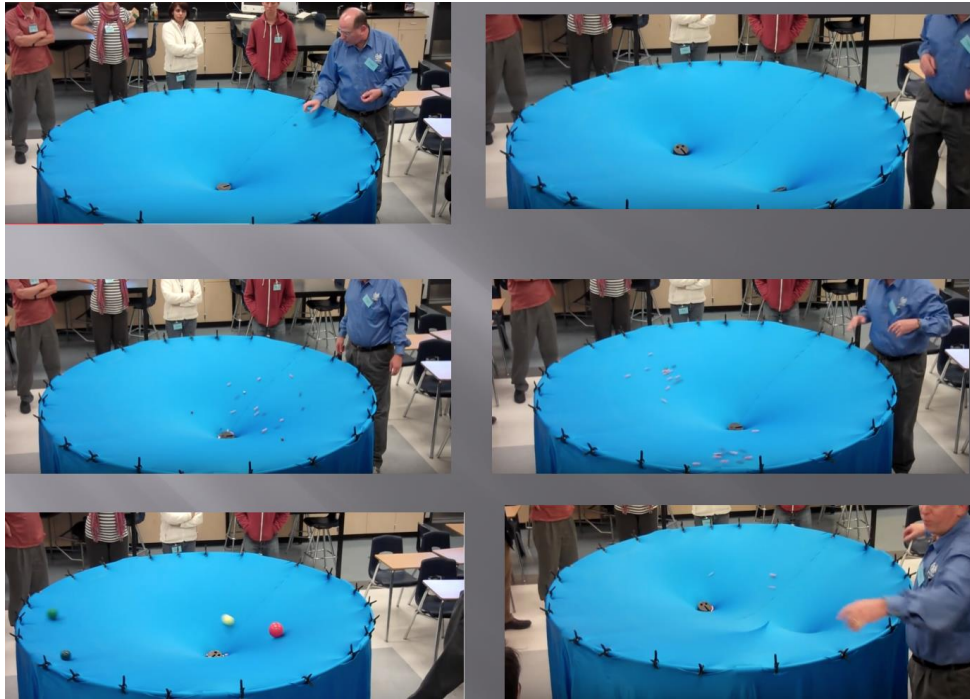
---

---

---

---

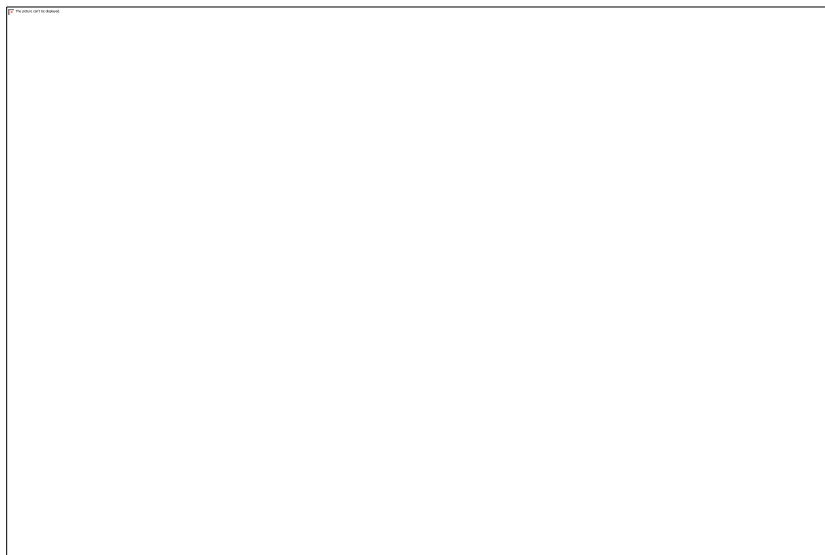
---



Dan Burns explains his space-time warping demo at a PTSOS workshop at Los Gatos High School.  
Watch the video at: <https://www.youtube.com/watch?v=MTY1Kje0yLg>

### Σημεία Προσοχής

Μπορείτε να βοηθήσετε μπαίνοντας από κάτω και κρατώντας το σεντόνι στη θέση που χρειάζεται για το κάθε φαινόμενο.



Από την εκδήλωση Playing with Protons στο NOESIS



## Λέξεις κλειδιά:

**Γενική Θεωρία της Σχετικότητας:** Η δεύτερη θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν που πραγματεύεται τις επιπτώσεις της βαρύτητας στον χώρο και τον χρόνο. Ο χώρος λέει στην ύλη πώς να κινείται και η ύλη λέει στον χώρο πώς να παραμορφώνεται!

**Χωρόχρονος:** Το τετραδιάστατο συνεχές μέσα στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλα τα συμβάντα και υπάρχουν όλα τα πράγματα: οι τρεις διαστάσεις του χωροχρόνου είναι οι συντεταγμένες του χώρου και η τέταρτη είναι ο χρόνος.

**Βαρυτική μετατόπιση προς το ερυθρό:** Η επιμήκυνση των κυμάτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπονται από ένα αντικείμενο μεγάλης μάζας.

**Βαρυτικό κύμα:** Μια βαρυτική διαταραχή που δημιουργείται από μία επιταχυνόμενη μάζα και η οποία διαδίδεται στον χωρόχρονο.

## Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την βαρύτητα:

1. Οι νόμοι για τα ουράνια σώματα δεν είναι ίδιοι με τους νόμους για τα επίγεια.
2. Η δύναμη την οποία ασκεί η Γη στο μήλο δεν είναι ίδιας φύσης με εκείνη που ασκεί η Γη στη Σελήνη.
3. Στο διάστημα δεν υπάρχει βαρύτητα.
4. Η βαρυτική δύναμη η ασκούμενη σε ένα δορυφόρο είναι μηδέν.
5. Η Σελήνη είναι ακίνητη.
6. Η Σελήνη διατηρείται σε τροχιά διότι η βαρυτική δύναμη την οποία της ασκεί η Γη εξουδετερώνεται από δυνάμεις που ασκούν τα άλλα ουράνια σώματα.
7. Η Σελήνη διατηρείται σε τροχιά διότι η βαρυτική δύναμη την οποία της ασκεί η Γη εξουδετερώνεται από τη δύναμη που ασκεί η Σελήνη στη Γη.
8. Η στροφική κίνηση της Γης γύρω από τον άξονά της δημιουργεί τη βαρύτητα.
9. Η Παγκόσμια έλξη δεν ισχύει για όλα τα σώματα.

## Χαρακτηριστικά & σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα

**Διάρκεια πειράματος:** 30 λεπτά

**Βαθμός δυσκολίας:** 1/5

**Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα:** Φυσική Ε' Δημοτικού: Μηχανική

## Πηγές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά

<https://tinanantsou.blogspot.gr>

## **Αναστοχασμός**

**Τί σας άρεσε;**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Τί σας δυσκόλεψε;**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Τί νομίζετε ότι θα απαντούσαν τα παιδιά στις παρακάτω ερωτήσεις;**

- α. Αν αφήσουμε στο κενό μία μπάλα και ένα πούμπουλο, ποιο θα πέσει πρώτο;**
- β. Γιατί αιωρούνται οι αστροναύτες;**
- γ. Τί είναι οι μαύρες τρύπες;**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Τί εναλλακτικές δραστηριότητες και διδακτικές στρατηγικές θα προτείνατε προκειμένου οι μαθητές/τριες να κατακτήσουν τις έννοιες αυτής της ενότητας;**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Σύνδεση και χρησιμότητα γνώσεων με την καθημερινότητα των μαθητών**

**Πώς σας βοήθησαν οι γνώσεις στην καθημερινή σας ζωή;**

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Πηγές**

Λεξικό των Επιστημών, Εκδόσεις Ερευνητές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά

<https://tinanantsou.blogspot.gr>

Ανδρέας Κασσέτας, Εναλλακτικές Ιδέες Μαθητών

<http://users.sch.gr/kassetas/0%20000%200%200%20aaAlterIDEAS.htm>

## Βιβλιογραφία και πηγές για περαιτέρω μελέτη

Παρουσιάσεις των Δρ. Τσεσμελή, Δρ. Γαζή, Δρ. Storr, Δρ. Αλεξόπουλου (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=269114>).

Π. Αναστασόπουλος, LHC στο CERN: Η μεγαλύτερη μηχανή του κόσμου. R.M. Barnett, H. Murphy, H.R. Quinn, Η γοητεία των παράξενων κουάρκ, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2006.

P. Hewitt, Οι έννοιες της Φυσικής, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2004.

Π. Καντής, Κοσμολογία, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2008.

Κ. Βαγιονάκης, Σωματιδιακή Φυσική. Μια εισαγωγή στη Βασική Δομή της Ύλης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2013.

A.R. Liddle, Introduction to Cosmology, John Wiley & Sons, Chichester, UK 2003.

S. Weinberg, Gravitation and Cosmology, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1972.

S. Dodelson, Modern Cosmology, Academic Press, Amsterdam, Netherlands, 2003.

N. Ardley, 101 Great Science Experiments, Dorling, Kindersley, London, 1993.

Ι. Γραμματικάκης, Εισαγωγή στη Σύγχρονη Φυσική, Εκδόσεις Δημόπουλου, 2006.

Κ. Γκαλφάρ, Το Σύμπαν στα Χέρια σας, Καλέντης, 2016.

Ι. Sample, Higgs, το Σωματίδιο του Θεού, Τραυλός, 2010.

Λ. Ντε Βρις, Τα βιβλία των πειραμάτων, Καστανιώτης, 1987.

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά, <https://tinanantsou.blogspot.gr>

[http://www.physics.ntua.gr/GREECE\\_AND\\_CERN/index.html](http://www.physics.ntua.gr/GREECE_AND_CERN/index.html)

<http://hep.physics.uoc.gr/DOC/OUTREACH/MICROCOSM/DETECTORS/whaticern.html>

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/index.html>

[http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/lhc\\_atlas.swf](http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/lhc_atlas.swf)

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/BEAMLINe/beamline.html>

<https://www.youtube.com/user/PHYSICSALL?feature=watch>

ΕΚΦΕ Δημόκριτος παρουσίαση CERN

<http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/THESIS%20-%20MARIA%20PETROU.pdf>

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την πειραματική φυσικό Δρ. Ανδρομάχη Τσίρου (CERN), τον καθηγητή Γεώργιο Καλκάνη (ΕΚΠΑ) και τον καθηγητή Διονύσιο Σιμόπουλο (Επίτιμος Διευθυντής του Ευγενιδείου Πλανηταρίου), για την πολύτιμη βοήθειά τους και τις επιστημονικές διορθώσεις τους. Επίσης, ευχαριστώ τον Δρ. Απόστολο Παρασκευά (Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ 70), την κα. Μίννη Καρρά (Εκπαιδευτικός στη Σχολή Χιλλ), τον Δρ. Σαράντη Χέλμη (Εκπαιδευτικός), και την κα. Χρύσα Πιπιλή (Εκπαιδευτικός), για τις παιδαγωγικές διορθώσεις και πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις τους. Εάν υπάρχουν οποιαδήποτε λάθη, είναι της συγγραφέως.

## Φωτογραφίες

Οι φωτογραφίες των πειραμάτων έχουν τραβηχθεί στα πλαίσια του μαθήματος Φυσικής και των πειραμάτων στην Σχολή Χιλλ.